

남산의 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 낙엽생산과 토양유기탄소 동태

정헌모 · 김해란 · 신동훈 · 이경미 · 이승혁 · 한영섭 · 장래하
이상경¹ · 김태규² · 유영환*

공주대학교 자연과학대학 생명과학과
¹미주생태연구원 환경영향평가사업부
²국립환경과학원 자연평가연구팀

Litter Production and Soil Organic Carbon Dynamincs of *Pinus densiflora*, *Quercus mongolica* and *Robinia pseudo-acacia* Forests in Mt. Nam

Heon-Mo Jeong, Hae-Ran Kim, Dong-Hoon Shin, Kyoung-Mi Lee, Seung-Hyuk Lee,
Young-Sub Han, Rae-Ha Jang, Sang-Kyeong Lee¹, Tae-Kyu Kim² and Young-Han You*

Department of Biology, Kongju National University, Kongju, Shinkwandong 182

¹Miju Ecosystem Institute, Department of Environment Assement, Ansan, Idong 694-2

²National Institute of Environmental Reaserch, Ecosystem Assessment Team,
Incheon, Hwankyeong-ro 42

Abstract - The objective of this study was to estimate dynamics of litter production and soil organic carbon of *Pinus densiflora* forest, *Quercus mongolica* forest, and *Rhobina pseudo-acasia* forest at Mt. Nam as a part of Korea National Long-Term Ecological Research (KNLTER) from 2008 to 2009. Litter production of *P. densiflora* forest was the highest in October 2008, 2009 and the lowest in January 2008 and December 2009. Litter production of *Q. mongolica* forest was the highest in November and the lowest in February in 2008 and 2009. Litter production of *R. pseudo-acacia* forest was the highest in November in 2008 and October in 2009 and the lowest in January in 2008 and December in 2009. It means that leaves of *P. densiflora* forest shed earlier than deciduous oak forests in Korean central region. An average of litter production for 2 years was 7.07, 6.36, 4.66 ton ha⁻¹ in *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest, *R. psuedo-acacia* forest, respectively. An average of soil organic carbon matter for 2 years was 88.3, 76.5, 84.2 ton ha⁻¹ in *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest, *R. psuedo-acacia* forest, respectively.

Key words : top soil, sub soil, Korea national long-term ecological research

*Corresponding author: Young-Han You, Tel. 041-850-8508,
Fax. 041-850-0957, E-mail. youeco21@kongju.ac.kr

서 론

육상생태계는 탄소의 주요 흡수원이다(John *et al.* 2003). 그런데 육상생태계에서 산림생태계는 가장 많은 탄소를 저장하고 있다. 이러한 산림생태계에서 토양의 탄소저장은 식물생산량과 토양으로 유입되는 낙엽과 낙엽의 분해율 등에 의해 결정된다(Sherri 2003).

산림생태계의 기능은 에너지의 흐름과 물질 순환이며, 이는 낙엽의 생산과 분해의 기능으로 유지되는 기본적인 과정이다(Bray and Gorham 1964; Wiegert and Monk 1972; Berg and Agren 1984). 그리고 산림생태계에서 임상에 축적된 유기물은 숲을 이루는 나무의 낙엽이 대부분을 차지하며(Ovington and Heitkamp 1960), 지상부 임목에서 토양 표면으로 이동되는 영양염류와 에너지의 주된 원천이다(Berg and Theander 1984; Lee and Son 2006a).

낙엽생산은 식생, 임분 밀도, 기후, 위도와 토양환경 등에 의하여 결정되며(Bray and Gorham 1964; Lousier and Parkinson 1978), 간벌과 시비와 같은 산림경영 활동 등에 따라서 생산량에 많은 차이를 나타낸다(Lee and Son 2006b; Park *et al.* 2008). 낙엽생산은 일반적으로 산림이 평형상태에 도달하게 되면 일정하게 유지된다(Turner and Lambert 1986). 그리고 낙엽의 생산의 유형은 계절적으로 다르게 나타내지만 매년 동일한 유형을 보인다(Sharma and Ambasht 1987).

토양 내 탄소량은 지구 총 탄소량의 약 50% 이상을 차지하고 있기 때문에(Vitousek 1991) 산림토양 내 탄소량의 정확한 규명이 산림을 통한 이산화탄소의 흡수 및 저장능력을 이해하는데 필수적이다. 산림생태계가 저장하고 있는 탄소의 대부분은 토양 속에 있는데 산림 유형에 따라서 토양에 저장되는 탄소의 양이 달라진다(Morris and Paul 2003).

지구온난화 및 기후변화를 완화시키기 위해 세계적으로 탄소저감 및 탄소흡수를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 인공 구조물 증가 및 화석연료의 과다사용 등으로 교외 지역보다 온난화가 더 빠르게 진행되고 있어 탄소저감 방안이 시급히 요구된다. 최근 도시지역에서 산림은 중요한 탄소흡수원으로 인식되고 있다(Ministry of environment 2010).

산림생태계의 낙엽생산과 탄소순환에 대한 연구는 월악산(Jeon *et al.* 2007), 점봉산(Kwak 2008), 공주시(Mun and Joo 1994; Lee and Mun 2005; Han and Mun 2009), 평창군(Kwak and Kim 1992) 등에서 수행된 바 있다. 우리

나라의 환경부에서는 국가장기생태연구를 통하여 점봉산, 남산, 지리산, 월악산 등 8개 지역에서 물질순환에 대한 모니터링을 장기간(2004~2012) 수행해 왔다.

본 연구는 낙엽의 생산과 토양유기탄소의 동태를 알아보기 위하여, 한반도의 대표적인 도시 산림생태계인 남산에서 자연림인 소나무림(*Pinus densiflora* forest), 신갈나무림(*Quercus mongolica* forest)과 인공림인 아까시나무림(*Robinia pseudo-acacia* forest)의 연간 낙엽생산량과 토양 표층과 심층의 유기탄소의 변화를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구의 조사지소인 남산은 서울시 중구 회현동, 남산동, 예장동 및 한남동에 걸쳐있는 산림으로, 도심에 위치한 대표적인 녹지대이며 한강으로 이어지는 도심생태 녹지축의 중심고리이다. 남산의 총면적은 258 ha이고 그 중 236.46 ha 임야로 남아 있지만, 과도한 인간간섭으로 인한 자연환경의 변화가 심한 지역이다(Lim 1979).

남산은 동서로 이어지는 능선을 경계로 하여 북사면은 경사가 급하고 주로 화강암인데 반하여, 남사면의 모암은 주로 편마암으로 비교적 완만한 경사에 화강암이 섞인 편마암 지대를 이룬 산지이다. 또한 남사면은 건조성인데 반하여 북사면은 습하며 이와 같은 건습의 차이는 생태적 환경의 차이를 나타내고 있다(박 1987). 남사면은 조림지가 많고 조림지 외에는 대부분이 소나무림이며, 북사면은 2차림 또는 신갈나무림으로 덮여 있는 곳이 많다(Lim 1979).

연구가 진행된 숲은 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림으로 2006년에 영구방형구를 설치하고 군락조사를 실시하였다(Table 1, Fig. 1). 소나무림의 임목밀도는 1,325 density ha⁻¹, 평균 DBH는 24.3 cm이었으며 관목층과 초본층은 때죽나무, 주름조개풀 그리고 서양등골나물이 우점하였다. 신갈나무림의 임목밀도는 2,475 density ha⁻¹, 평균 DBH는 25.0 cm이었으며 관목층과 초본층은 당단풍과 단풍취가 우점하였다. 아까시나무림의 임목밀도는 2,275 density ha⁻¹, 평균 DBH는 15.8 cm이었으며 관목층과 초본층은 때죽나무와 기름새가 우점하였다.

남산은 냉온대 중부 낙엽활엽수림을 주축으로 하는 곳으로 조사기간(2008~2009년) 중 연평균기온은 12.9°C, 최고기온은 8월의 34.9°C, 최저기온은 1월의 -13°C이었으며, 연강수량은 1,356.3 mm, 1,564 mm이었다(Korea meteorological administration 2008, 2009).

Table 1. Habitat characteristics of *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest and *R. pseudo-acacia* forest

Characteristics	Study forest		
	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>R. pseudo-acacia</i>
Altitude (m)	170	200	80
Aspect	SW	NE	W
Slope (°)	5	10	20
Forest age (yr)	30	50	30
Tree layer			
Dominant Species	<i>P. densiflora</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>R. pseudo-acacia</i>
Tree Height (m)	11.3	10.6	9.4
Mean DBH (cm)	24.3	25.0	15.8
Coverage (%)	95	80	80
Trees density ha ⁻¹	1,325	2,475	2,275
Shrub layer			
Dominant Species	<i>Styrax japonica</i>	<i>Acer pseudosieboldianum</i>	<i>Styrax japonica</i>
Shrub Height (m)	2.5	2.5	2
Coverage (%)	35	30	20
Herb layer			
Dominant Species	<i>Oplismenus undulatifolius</i> <i>Eupatorium rugosum</i>	<i>Ainsliaea acerifolia</i>	<i>Spodiopogon cotulifer</i>
Herb Height (m)	0.5	0.5	0.7
Coverage (%)	80	35	10

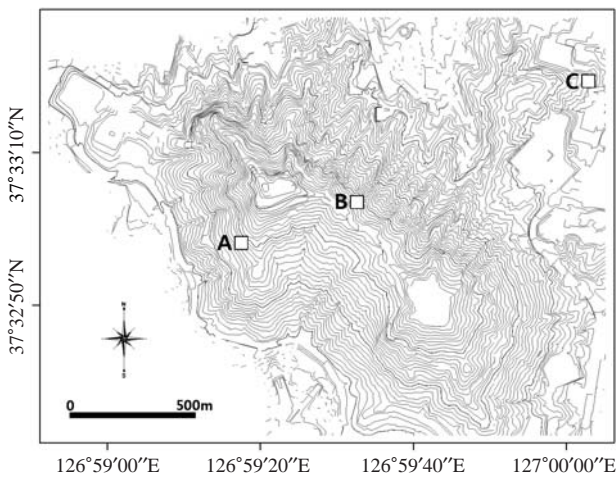


Fig. 1. A map showing the study area. The open quadrangles indicate the location of the *P. densiflora* forest (A), *Q. mongolica* forest (B), and *R. pseudo-acacia* forest (C) in the study area.

2. 낙엽생산량

소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 낙엽생산량을 조사하기 위해 입구의 넓이가 1m²인 원형 litter trap 5개를 지상에서 1m 이상의 높이에 설치하였다. 2008년 1월에서 2009년 12월까지 매월 litter trap 속에 들어있는 낙엽을 수거하였다. 수거한 낙엽은 실험실에서 낙엽, 목질부(수피와 가지), 생식기관(꽃과 열매), 기타 등으로 분류하여 70°C 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후에 칭량하였다.

3. 토양가비중과 석력함량, 암석비율 계산

토양의 가비중을 측정하기 위해 직경 5cm, 길이 5cm인 원통형의 토양 채취기를 이용하여 토양 표층과 심층을 채취하였고 채취한 토양은 105°C 건조기에서 48시간 건조시켜 칭량한 뒤 가비중을 계산하였다. 토양유기탄소량은 암석 등 토양 외의 물질에 의한 과대측정오류를 최소화하기 위해 토양 내 축적된 탄소량에 2mm 이상의 석력함량과 군락 내 암석비율을 제외한 토양비율을 곱하여 계산하였다. 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 암석비율은 각 군락에서 가장 대표성이 있는 방형구(10m×10m)를 설정하여 임상에 돌출된 암석의 사진을 찍어 암석의 면적을 CAD(Auto CAD 2008, Auto desk)에서 구적하였다.

4. 토양유기탄소량

소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 토양은 낙엽층을 제거하고 그 바로 밑의 표층(top soil)과 표층 밑의 깊이 약 20cm 전후의 심층(sub soil)을 채취하였다. 토양은 동결기를 제외하여, 2008년에는 1~9월, 2009년에는 1~10월까지 채취하였다. 채취된 토양은 밀봉 후 실험실로 운반하여 음지에서 건조하였다.

유기물 함량은 자기도가니에 풍건세토 5g을 넣고 105°C 건조기에서 48시간 이상 건조시킨 후 칭량한 다음 이를 600°C 전기로에서 4시간 정도 작열시킨 후 건중량에서 회분량을 빼어 토양의 유기물 함량을 계산하였고 토

양의 유기탄소량은 유기물 함량을 1.724로 나누어 산출하였다(Black 1965).

결과 및 고찰

1. 낙엽생산량 변화

소나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 및 목질부, 생식기관 등을 포함한 전체 낙엽생산량은 10~11월에 가장 많았고 2월과 12월에 가장 적었다(Fig. 2A). 연도별 낙엽생산량은 각각 6.88 ton ha⁻¹와 7.26 ton ha⁻¹이었으며 2008년에 비교하여 2009년의 낙엽생산량이 더 많았다.

2008년의 낙엽생산량의 변화는 10월에 1.42 ton ha⁻¹ (30.72%)로 가장 많았고 2월에 0.05 ton ha⁻¹ (1.17%)로 가장 적었다. 목질부 생산량의 월 변화는 11월에 0.17 ton ha⁻¹ (15.65%)로 가장 많았고 9월에 0.01 ton ha⁻¹ (1.29%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량의 월 변화는 10월에 0.15 ton ha⁻¹ (23.12%)로 가장 많았고 2월에 0.001 ton ha⁻¹ (0.16%)로 가장 적었다.

2009년의 낙엽 생산량의 변화는 10월에 1.61 ton ha⁻¹ (34.96%)로 가장 많았고 12월에 0.01 ton ha⁻¹ (0.27%)로 가장 적었다. 목질부 생산량은 8월에 0.4 ton ha⁻¹ (23.59%)로 가장 많았고 12월에 0.01 ton ha⁻¹ (0.84%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량은 6월에 0.18 ton ha⁻¹ (28.31%)로 가장 많았고 12월에 0.001 ton ha⁻¹ (0.18%)로 가장 적었다.

관악산의 리기다소나무림의 연간 낙엽 총 생산량은 6.04 ton ha⁻¹ (Kim and Jang 1989)이며 본 소나무림의 2년 동안의 평균 낙엽생산량(7.07 ton ha⁻¹)은 이보다 더 많았다. 본 소나무림의 2년 동안의 평균 낙엽생산량은 월악산 소나무림의 7.07 ton ha⁻¹ (Namgung and Mun 2009)와 소백산 소나무림의 2.3 ton ha⁻¹ (Korea National Park 2010), 무등산 소나무림의 5.5 ton ha⁻¹ (Kim 2008), 공주시 금학동 소나무림의 5.43 ton ha⁻¹ (Lee 2003)보다 많았다. 이것은 남산의 소나무림 임목밀도(1,325 trees ha⁻¹)가 Namgung과 Mun (2009)이 연구한 월악산의 소나무림 임목밀도(1,300 trees ha⁻¹)와 Kim (2008)이 연구한 무등산 소나무림의 임목밀도(900 trees ha⁻¹)보다 더 높기 때문인 것으로 판단된다.

신갈나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 및 목질부, 생식기관 등을 포함한 전체 낙엽생산량은 10~11월에 가장 많았고 1월과 12월에 가장 적었다(Fig. 2B). 연도별 낙엽생산량은 각각 6.3 ton ha⁻¹와 6.4 ton ha⁻¹이었으며 2008년에 비교하여 2009년의 낙엽생산량이 더 많았다(Fig. 2B). 2008년의 낙엽생산량의 변화는 11월에 2.3 ton

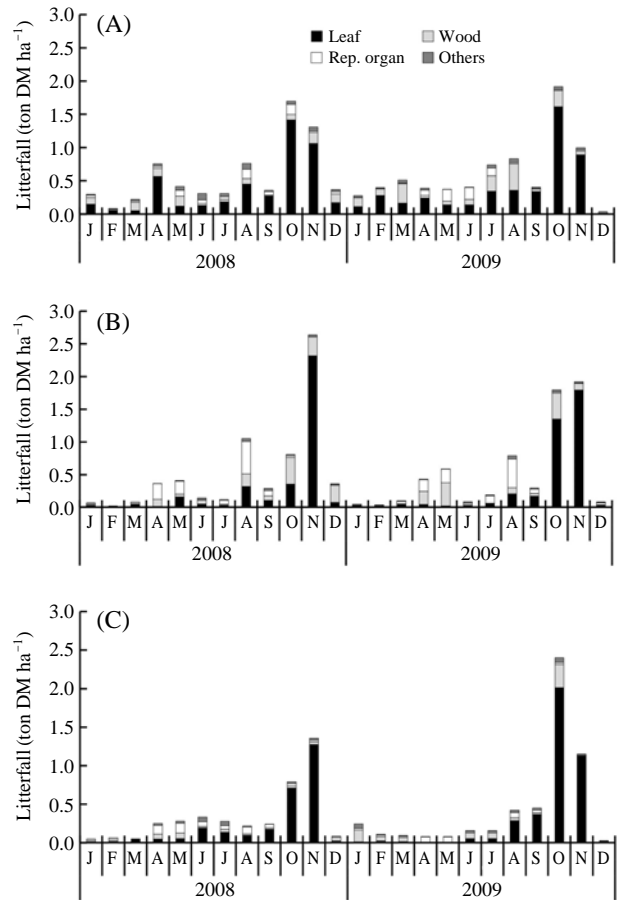


Fig. 2. Seasonal changes of litter production of the *P. densiflora* forest (A), *Q. mongolica* forest (B) and *R. pseudo-acacia* forest (C) for 2 years in the study area.

ha⁻¹ (66.0%)로 가장 많았고 2월에는 0.008 ton ha⁻¹ (0.25%)로 가장 적었다. 목질부 생산량은 10월에 0.41 ton ha⁻¹ (27.17%)로 가장 많았고 2월에는 0.002 ton ha⁻¹ (0.17%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량은 8월에 0.5 ton ha⁻¹ (43.25%)로 가장 많았고 2월과 3월에 각각 0.001 ton ha⁻¹ (0.01%)으로 가장 적었다.

2009년의 낙엽 생산량의 변화는 11월에 1.79 ton ha⁻¹ (47.36%)로 가장 많았고 2월에 0.02 ton ha⁻¹ (0.46%)로 가장 적었다. 목질부 생산량은 10월에 0.4 ton ha⁻¹ (30.55%)로 가장 많았고 1월에 0.004 ton ha⁻¹ (0.34%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량은 8월에 0.44 ton ha⁻¹ (41.14%)로 가장 많았고 3월에 0.002 ton ha⁻¹ (0.22%)로 가장 적었다.

우리나라 참나무림의 연간 낙엽생산량은 2.48~8.76 ton ha⁻¹ (Son et al. 2004)이며 온대 낙엽활엽수림은 2.3~7.1 ton ha⁻¹ (Raich and Nadelhoffer 1989)로, 본 신갈나무

Table 2. Annual litter production ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$) of the *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest and *R. pseudo-acacia* forest in the study area (Values in parenthesis indicate percentage to total)

Plant part	Forest								
	<i>P. densiflora</i>			<i>Q. mongolica</i>			<i>R. pseudo-acacia</i>		
	2008	2009	Mean	2008	2009	Mean	2008	2009	Mean
Leaves	4.61 (67.0)	4.61 (63.5)	4.61 (65.2)	3.51 (55.3)	3.79 (59.5)	3.65 (57.4)	2.78 (69.5)	3.97 (74.7)	3.37 (72.4)
Wood	1.07 (15.6)	1.68 (23.1)	1.38 (19.5)	1.50 (23.6)	1.31 (20.5)	1.40 (22.1)	0.40 (9.9)	0.72 (13.6)	0.56 (12.0)
Reproductive organ	0.66 (9.7)	0.64 (8.8)	0.65 (9.2)	1.15 (18.1)	1.08 (17.0)	1.11 (17.5)	0.58 (14.5)	0.37 (6.9)	0.47 (10.2)
Others	0.53 (7.8)	0.33 (4.6)	0.43 (6.1)	0.19 (3.0)	0.19 (3.0)	0.19 (3.0)	0.24 (6.1)	0.26 (4.8)	0.25 (5.3)
Total	6.88 (100.0)	7.26 (100.0)	7.07 (100.0)	6.35 (100.0)	6.37 (100.0)	6.36 (100.0)	4.00 (100.0)	5.31 (100.0)	4.66 (100.0)

림의 2년 동안 평균 낙엽생산량 (6.36 ton ha^{-1})은 이들 범위 내에 있다. 한편 본 신갈나무림의 2년 동안 평균 낙엽생산량은 월악산 신갈나무림 5.5 ton ha^{-1} (Choi 2007)와 소백산 신갈나무 1.26 ton ha^{-1} (Korea National Park 2010) 보다 많았다. 그리고 경기도 광주지방 신갈나무림의 3.49 ton ha^{-1} (Lee and Park 1987), 평창군 신갈나무림의 4.97 ton ha^{-1} (Kwak and Kim 1992) 그리고 점봉산 신갈나무림의 4.2 ton ha^{-1} (Kwak 2008)보다 높았다. 이는 남산의 신갈나무림의 수도는 $2,475 \text{ trees ha}^{-1}$ 로 월악산의 신갈나무림 ($950 \text{ trees ha}^{-1}$), 평창군의 신갈나무림 ($1,450 \text{ trees ha}^{-1}$)와 점봉산의 신갈나무림 ($1,221 \text{ trees ha}^{-1}$)보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

아까시나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 및 목질부, 생식기관 등을 포함한 전체 낙엽생산량은 10~11월에 가장 많았고 1월과 12월에 가장 적었다 (Fig. 2C). 각 연도별 낙엽생산량은 각각 4 ton ha^{-1} 와 5.02 ton ha^{-1} 이었으며 2008년에 비교하여 2009년의 전체 낙엽생산량이 크게 증가하였다.

2008년의 낙엽생산량의 변화는 11월에 1.27 ton ha^{-1} (45.84%)로 가장 많았고 1월에는 0.01 ton ha^{-1} (0.43%)로 가장 적었다. 목질부 생산량은 5월에 0.07 ton ha^{-1} (17.86%)로 가장 많았고 3월에는 $0.007 \text{ ton ha}^{-1}$ (1.91%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량은 5월에 0.13 ton ha^{-1} (21.94%)로 가장 많았고 3월에 $0.002 \text{ ton ha}^{-1}$ (0.41%)으로 가장 적었다.

2009년의 낙엽 생산량의 변화는 10월에 2.01 ton ha^{-1} (50.75%)로 가장 많았고 12월에 $0.0033 \text{ ton ha}^{-1}$ (0.08%)로 가장 적었다. 목질부 생산량은 10월에 0.3 ton ha^{-1} (41.73%)로 가장 많았고 4월과 5월에 각각 $0.0055 \text{ ton ha}^{-1}$ (0.71%)로 가장 적었다. 생식기관 생산량은 4월과 5월에 각각 0.07 ton ha^{-1} (37.07%)로 가장 많았고 11월에 $0.002 \text{ ton ha}^{-1}$ (0.65%)로 가장 적었다.

아까시나무림의 2년 동안 평균 낙엽생산량은 5.02 ton

ha^{-1} 로 온대 낙엽활엽수림의 $2.3 \sim 7.1 \text{ ton ha}^{-1}$ (Raich and Nadelhoffer 1989)의 범위에 포함되었다.

세 군락의 2년 동안 평균 낙엽생산량은 소나무림이 7.07 ton ha^{-1} , 신갈나무림이 6.36 ton ha^{-1} , 아까시나무림이 5.02 ton ha^{-1} 으로 소나무림의 낙엽생산량이 가장 많았고 신갈나무림, 아까시나무림 순 이었다 (Table 2). 일반적으로 참나무림은 소나무림보다 낙엽생산이 많은 것으로 알려져 있는데 (Liu 2004), 국내 삼림생태계의 연구에서도 월악산의 경우 2005년부터 2010년까지 6년의 평균 낙엽생산량은 신갈나무림 ($6.073 \text{ ton ha}^{-1}$)이 소나무림 ($3.182 \text{ ton ha}^{-1}$)보다 더 많았고 (Ministry of environment 2011), 지리산의 경우도 2007년부터 2011년까지 5년의 평균 낙엽생산량은 신갈나무림 ($101.848 \text{ ton ha}^{-1}$)이 소나무림 ($79.894 \text{ ton ha}^{-1}$)보다 더 많은 것으로 밝혀졌다 (Ministry of environment 2011).

그러나 본 연구지소에서 2년 동안 남산의 소나무림이 신갈나무림 보다 낙엽생산이 많았던 것은 신갈나무가 산림 관리에 따른 벌목으로 임목의 수가 줄어들어 낙엽생산이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다 (Ministry of environment 2010). 조사지 내 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 임목 수는 2008년에 비하여 2009년에 9.8%, 34.3%, 29.7%가 줄어들었다 (Ministry of environment 2010).

2. 낙엽 시기

소나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 시기는 10월로 같았고, 신갈나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 시기는 각각 11월과 10월로 2008년에 비교하여 2009년에는 1달 빨랐다 (Fig. 2). 아까시나무림의 2008년과 2009년의 낙엽 시기는 10월로 같았다.

2008년과 2009년에 남산의 소나무림은 10월부터 낙엽이 지기 시작하였고, 낙엽생산량은 10월에 가장 많은 반면, 신갈나무림은 10~11월에 낙엽이 지기 시작하였

Table 3. Soil characteristics of *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest, *R. pseudo-acacia* forest

	<i>P. densiflora</i>		<i>Q. mongolica</i>		<i>R. pseudo-acacia</i>	
	Top soil	Sub soil	Top soil	Sub soil	Top soil	Sub soil
Soil volume density (g cm ⁻³)	1.05 ± 0.13	1.09 ± 0.08	0.96 ± 0.28	1.00 ± 0.12	1.38 ± 0.18	1.28 ± 0.11
Rate of cobblestone (%)	23.8 ± 13.7	26.0 ± 7.5	13.8 ± 5.5	17.8 ± 6.5	48.5 ± 11.2	47.6 ± 14.4

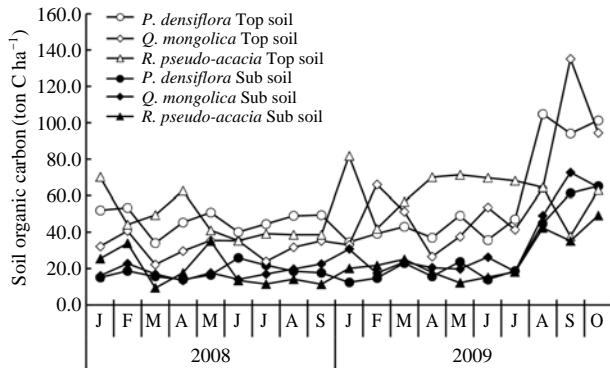


Fig. 3. Seasonal changes of organic carbon of soil of the *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest and *R. pseudo-acacia* forest for 2 years in the study area.

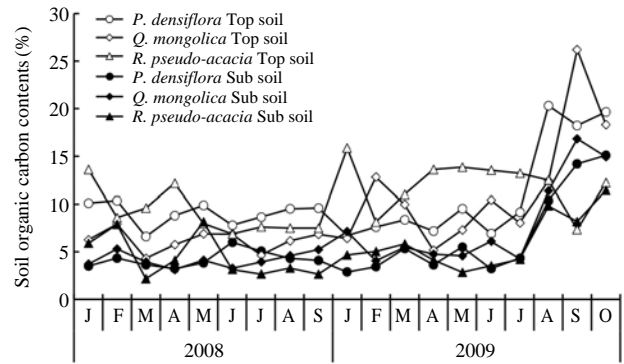


Fig. 4. Seasonal changes of organic carbon contents (%) of soil of the *P. densiflora* forest, *Q. mongolica* forest and *R. pseudo-acacia* forest for 2 years in the study area.

고 낙엽생산량은 11월에 가장 많았다. 이상의 결과는 한반도 중부에서 상록성의 소나무림이 낙엽성의 참나무림보다 더 일찍 낙엽이 진다는 것을 의미한다.

3. 토양가비중과 석력함량, 암석비율

소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림에서 토양표층과 심층의 가비중은 아까시나무림 (1.38 ± 0.18, 1.28 ± 0.11), 소나무림 (1.05 ± 0.13, 1.09 ± 0.08), 신갈나무림 (0.96 ± 0.28, 1.00 ± 0.12)의 순으로 높았다 (Table 3). 그리고 토양 표층과 심층의 석력함량은 아까시나무림 (48.5 ± 11.2, 47.6 ± 14.4), 소나무림 (23.8 ± 13.7, 26.0 ± 7.5), 신갈나무림 (13.8 ± 5.5, 17.8 ± 6.5) 순으로 많았다. 아까시나무림에서 단위부피에 대한 토양의 양과 석력함량이 가장 많았다.

소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림의 임상의 암석비율은 소나무림, 신갈나무림, 아까시나무림이 각각 2.1%, 2.0%, 0.1% 였다 (Fig. 5).

4. 토양유기탄소량

2008년 소나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 60.7 ton C ha⁻¹ 이었으며, 2월에 68.4 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 3월에 46.1 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다 (Fig. 3). 소나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 30.8 ton C ha⁻¹ 이었으며, 6월에 42.6 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 4월에 24.0

ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

2009년 소나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 54.7 ton C ha⁻¹ 이었으며, 9월에 83.5 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 4월에 40.3 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다. 소나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 30.3 ton C ha⁻¹이었으며, 10월에 44.4 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 1월에 22.2 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

소나무림 토양 표층의 연중 토양유기탄소량은 심층의 토양유기탄소량 보다 높았다. 2년간의 소나무림의 토양 표층과 심층의 토양유기탄소량은 각각 57.7 ton C ha⁻¹, 30.6 ton C ha⁻¹로 표층이 심층보다 약 1.8배 높았다.

소나무림에서 2년의 평균 토양유기탄소량은 88.3 ton C ha⁻¹로 미국 침엽수림 (토양깊이 20 cm)의 68 ton C ha⁻¹ (Coeli *et al.* 2012)보다 많고 콜롬비아 소나무림 (토양깊이 25 cm)의 90.8 ton C ha⁻¹ (Usuga *et al.* 2010)보다 적었다. 그리고 월악산의 2008년부터 2009년까지의 소나무림 (토양깊이 20 cm)의 평균 토양유기탄소량인 13.4 ton C ha⁻¹ (Ministry of environment 2011)보다 많았다. 토양의 유기탄소량은 낙엽 생산량에 의해 영향을 받는다 (Hontoria 1999). 남산의 토양 유기탄소량이 월악산 보다 많은 이유는 임목의 밀도가 남산 (1,325 주 ha⁻¹)이 월악산 (1,300 주 ha⁻¹)보다 많고, 남산 (7.07 ton ha⁻¹)의 평균 낙엽생산량이 월악산 (3.29 ton ha⁻¹) 보다 2배 이상 높기 때문인 것으로 판단된다 (Ministry of environment 2011).

2008년 신갈나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 45.0 ton C ha⁻¹ 이었으며, 2월에 56.3 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 3월에 32.4 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다(Fig. 3). 신갈나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 30.4 ton C ha⁻¹ 이었으며, 2월에 38.9 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 4월에 23.9 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

2009년 신갈나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 47.2 ton C ha⁻¹ 이었으며, 2월에 67.3 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 4월에 32.7 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다. 신갈나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 30.3 ton C ha⁻¹ 이었으며, 6월에 37.3 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 9월에 21.8 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

신갈나무림 토양 표층의 연중 토양유기탄소량은 심층의 토양유기탄소량 보다 높았다. 2년간의 신갈나무림의 토양 표층과 심층의 토양유기탄소량은 각각 46.1 ton C ha⁻¹, 30.4 ton C ha⁻¹로 표층이 심층보다 약 1.5배 높았다.

신갈나무림에서 2년의 평균 토양유기탄소량은 76.5 ton C ha⁻¹로 미국 활엽수림의 토양유기탄소량인 63 ton C ha⁻¹ (Coeli *et al.* 2012)보다 많았다. 남산의 신갈나무림의 토양유기탄소량은 월악산의 2008년과 2009년의 평균 토양유기탄소량인 34.3 ton C ha⁻¹ (Ministry of environment 2011)보다 많았다. 이는 남산 신갈나무림 임목밀도(2,475

trees ha⁻¹)가 월악산(950 trees ha⁻¹) 보다 높고 연평균 낙엽생산량도 월악산(6.34 ton ha⁻¹)보다 남산(6.36 ton ha⁻¹)에서 더 많기 때문에 토양에 축적되는 유기탄소의 양도 남산이 더 많은 것으로 판단된다.

2008년 아까시나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 55.1 ton C ha⁻¹ 이었으며, 1월에 78.2 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 6월에 43.6 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다(Fig. 3). 아까시나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 27.2 ton C ha⁻¹이었으며, 5월에 47.8 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 3월에 14.0 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

2009년 아까시나무림 표층의 평균 토양유기탄소량은 57.9 ton C ha⁻¹이었으며, 1월에 73.6 ton C ha⁻¹로 가장 높았고 10월에 39.8 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다. 아까시나무림 심층의 평균 토양유기탄소량은 28.2 ton C ha⁻¹ 이었으며, 3월에 39.0 ton C ha⁻¹으로 가장 높았고 6월에 19.0 ton C ha⁻¹로 가장 낮았다.

아까시나무림 토양 표층의 연중 토양유기탄소량은 심층의 토양유기탄소량 보다 높았다. 2년간의 아까시나무림의 토양 표층과 심층의 토양유기탄소량은 각각 56.5 ton C ha⁻¹, 27.7 ton C ha⁻¹로 표층이 심층보다 약 2배 높았다.

세 군락의 2년 동안의 토양유기탄소량은 소나무림에서 가장 많았고 아까시나무림, 신갈나무림 순이었다

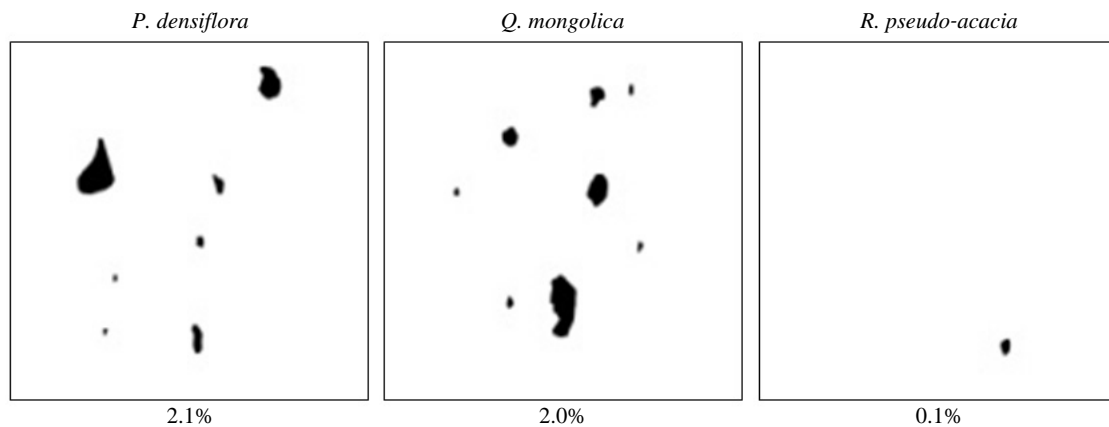


Fig. 5. Maps of rock distribution in the study area. The black polygons indicate location and area of the rocks.

Table 4. Annual soil organic carbon amounts along the soil depth

	Forest								
	<i>P. densiflora</i>			<i>Q. mongolica</i>			<i>R. pseudo-acacia</i>		
	2008	2009	Mean	2008	2009	Mean	2008	2009	Mean
Top soil (ton C ha ⁻¹)	60.7	54.7	57.7	45.0	47.2	46.1	55.1	57.9	56.5
Sub soil (ton C ha ⁻¹)	30.8	30.3	30.6	30.4	30.3	30.4	27.2	28.2	27.7
Total (ton C ha ⁻¹)	91.5	85.0	88.3	75.4	77.5	76.5	82.3	86.1	84.2

(Table 4). 세 군락에서 소나무림의 토양유기탄소량이 가장 많은 것은 아까시나무림의 가비중이 가장 높지만 토양 속 석력 함량이 약 48% (Table 3)로 많아 토양유기탄소량이 석력함량 만큼 상쇄되었기 때문이다. 그리고 아까시나무림의 토양유기탄소량이 신갈나무림 보다 많은 것은 아까시나무림의 토양 가비중이 신갈나무림보다 약 1.3배 높고 아까시나무림의 토양유기탄소함량이 더 높기 때문이다. 아까시나무림의 표층과 심층의 토양유기탄소함량은 2008년에는 9.0%, 4.4%, 2009년에는 12.1%, 5.9% 이고 신갈나무림의 표층과 심층의 토양유기탄소함량은 2008년에는 6.1%, 4.1%, 2009년에는 11.7%, 7.9%이었다 (Fig. 4). 토양유기탄소함량은 신갈나무림보다 아까시나무림에서 더 많았고 그 결과 토양유기탄소량은 아까시나무림에서 더 많았다.

이상의 결과는 남산의 소나무림과 신갈나무림은 아까시나무림에 비하여 유기물과 석력함량이 적은 토양에 분포하고 아까시나무림은 토양 속 석력함량은 높지만 유기물이 많은 토양에 분포하는 것을 나타낸다. 이러한 연구 대상이 되는 산림 생태계의 토양 석력함량과 임상의 암석 면적을 고려하는 것은 더 정확한 산림 생태계의 낙엽생산량과 토양유기탄소량의 동태를 규명할 수 있음을 나타낸다.

적 요

남산의 소나무림, 신갈나무림 그리고 아까시나무림에서 2008년 1월부터 2009년 12월까지의 월별 낙엽생산량과 토양의 유기탄소량을 조사하였다. 소나무림은 2008년과 2009년 모두 10월에 낙엽생산량이 가장 많았으며, 2008년 1월과 2009년 12월에 낙엽생산량이 가장 적었다. 신갈나무림은 2008년과 2009년 모두 11월에 낙엽생산량이 가장 많았으며, 2월에 낙엽생산량이 가장 적었다. 아까시나무림은 2008년 11월과 2009년 10월에 낙엽생산량이 가장 많았으며, 2008년 1월과 2009년 12월에 낙엽생산량이 가장 적었다. 이것은 한반도 중부에서 상록성의 소나무림이 낙엽성의 참나무숲 보다 더 일찍 낙엽이 진다는 것을 의미한다. 소나무림과 신갈나무림, 아까시나무림의 2년 평균의 낙엽생산량은 7.07, 6.36, 5.02 ton ha⁻¹로 소나무가 가장 많았다. 소나무림과 신갈나무림, 아까시나무림의 2년 평균의 토양유기탄소량은 76.2, 68.6, 72.5 ton C ha⁻¹로 소나무림에서 가장 많았다. 이처럼 소나무숲에서 높게 나타난 것은 남산에서 신갈나무나 아까시나무를 벌목하여 임목밀도가 줄었기 때문이다.

사 사

본 논문은 환경부의 2012년도 국가장기생태연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Berg B and G Agren. 1984. Decomposition of needle litter and its organic chemical components of needle litter during decomposition. In long-term decomposition in a scots pine forest I. Can. J. Bot. 60:1310-1319.
- Berg B and O Theander. 1984. Dynamics of some nitrogen fraction in decomposition Scots pine needle litter. Pedobiologia 27:264-267.
- Black CA. 1965. Methods of Soil Analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.
- Bray JR and E Gorham. 1964. Litter production in forests of the world. Adv. Ecol. Res. 2:101-157.
- Choi HJ. 2007. Organic carbon distribution and budget in *Quercus variabilis* and *Quercus mongolica* forests at Mt. Worak national park. MS Thesis. Kongju National University, Kongju, Korea (in Korean).
- Grace J. 2005. Role of forest biomass in the global carbon balance. pp.19-45. In The carbon balance of forest biomass (Griffiths H and PG Jarvis eds.). Taylor and Francis. USA. 335pp.
- Han AR and HT Mun. 2009. Distribution of organic carbon in pitch pine plantation in Kongju, Korea. J. Ecol. Field Biol. 32:27-31.
- Hontoria C, R Murillo, J Carlos and A Saa. 1999. Relationships between soil organic carbon and site characteristics in Peninsular Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 614-621.
- Hoover CM, WB Leak and BG Keel. 2012. Benchmark carbon stocks from old-growth forests in northern New England, USA. Forest Ecol. Manage. 266:108-114.
- Jeon IY, CH Shin, GH Kim and HT Mun. 2007. Organic carbon distribution of the *Pinus densiflora* forest on Songgye Valley at Mt. Worak National Park. J. Ecol. Field Biol. 30: 17-21 (in Korean).
- Joo HT and HT Mun. 1994. Litter production and decomposition in the *Quercus acutissima* and *Pinus rigida* forests. Journal of Ecology and Field Biology 17:345-353 (in Korean).
- Kim JG and NK Jang. 1989. Litter production and decomposition in the *pinus Rigida* plantation in Mt. Kwan-ak. Journal of Ecology and Field Biology 12:9-20 (in Korean).
- Kim SB. 2008. Soil CO₂ efflux and leaf-litter decomposition in

- Pinus densiflora* and *Quercus variabilis* stands. MS Thesis. Chonnam National University, Gwangju, Korea. p. 50 (in Korean).
- Kimble JM, RA Birdsey, R Lal and LS Heath. 2003. Introduction and general description of U.S. forests. pp. 3. In The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect (Kimble JM, LS Heath, RA Birdsey and R Lal eds.). Lewis Publishers, USA.
- Korea meteorological administration. 2008. Annual climatological report 2008. Korea meteorological administration Press. p. 25 (in Korean).
- Korea meteorological administration. 2009. Annual climatological report 2008. Korea meteorological administration Press. p. 25 (in Korean).
- Korea national park. 2010. Resource monitoring of Sobaeksan national park in 2010. Korea national park Press, Seoul. p. 31 (in Korean).
- Kwak TB. 2008. Comparative study for the phytomass, NPP and organic carbon budget among *Quercus mongolica*, *Quercus mongolica-Abies holophylla* and *Pinus densiflora* communities in Mt. Jumbong, Korea. MS Thesis. Gangneung National University, Gangneung, Korea (in Korean).
- Kwak YS and JH Kim. 1992. Secular changes of density, litterfall, phytomass and primary productivity in mongolian oak (*Quercus mongolica*) forest. Korean J. Ecol. 15:19-33.
- Kwak YS and JH Kim. 1992. Nutrient Cyclings in Mongolian Oak (*Quercus mongolica*) Forest. Korean J. Ecol. 15:35-46.
- Lee IK and YW Son. 2006a. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on soil chemical properties of *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* plantations in Yangpyeong area, Gyeonggi Province. J. Korean Forest. Soc. 95:82-90 (in Korean).
- Lee IK and YW Son. 2006b. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on nutrient dynamics and litterfall production of *Pinus rigida* and *Larix kaempferi*. J. Ecol. Field Biol. 39:205-212 (in Korean).
- Lee KJ and HT Mun. 2005. Organic carbon distribution in an oak forest. J. Ecol. Field Biol. 28:265-270 (in Korean).
- Lee KJ and IH Park. 1987. Primary production and nutrients distribution in 22-year-old *Pinus koraiensis* and *Quercus Mongolica* stands in Kwangju district. J. Korean Forest Energy 7:11-21 (in Korean).
- Lee KJ. 2003. A study on the organic carbon distribution in forests. ecosystems. MS Thesis. Kongju National University, Kongju, Korea (in Korean).
- Lim KB. 1979. Research on the damage conditions of Namsan park forest and its measures. Report of Seoul Metropolitan, Seoul. p. 134 (in Korean).
- Liu CJ, CJ Wetman, B Bergs and W Kutsch. 2004. Variation in litterfall-climate relationships between coniferous and broad-leaf forests in Eurasia. Global Ecol. Biogeogr. 13:105-114.
- Lousier JD and D Parkinson. 1978. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. Canadian Journal of Botany 56: 233-240.
- Ministry of environment. 2010. Korea national long-term ecological research. NIER Press, Incheon. p. 688 (in Korean).
- Ministry of environment. 2011. Korea national long-term ecological research. NIER, Incheon. p. 1682 (in Korean).
- Morris SJ and EA Paul. 2003. Forest soil ecology and soil organic carbon. CRC Press, New York. pp. 109-125.
- Namgung J and HT Mun. 2009. Litterfall and nutrient input via litterfall in *Pinus densiflora* forest at Mt. Worak national park. Korean J. Environ. Biol. 27:261-265 (in Korean).
- Ovington JD and D Heitkamp. 1960. The accumulation of energy in forest plantation in Berlin. Ecology 48:639-646.
- Park BK. 1987. Vegetation and soil factors of Namsan Park (Seoul). Nat. Conserv. 60:13-18 (in Korean).
- Park JY, CS Kim, JY Jeong, JK Byun, YH Son and MJ Yi. 2008. Effect of fertilization on litterfall amounts in a *Quercus acutissima* stand. J. Korean Forest. Soc. 97:582-588 (in Korean).
- Sharma E and R Ambasht. 1987. Litterfall, decomposition and nutrient release in an age sequence of leaves during processing in a woodland stream. Ecology 57:720-727.
- Shin CH, HY Won and HT Mun. 2011. Litter production and nutrient input via litterfall in *Quercus mongolica* forest at Mt. Worak National Park. J. Ecol. Field Biol. 34:107-113.
- Turner J and MJ Lamber. 1986. Nutrition and nutritional relationships of *Pinus radiata*. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17:325-350.
- Usuga JCL. Jorge andes rodriguez toro. Mailing vanessa ramirez. Alvaro de jesus lema tapis. 2010. Forest Ecol. Manage. 260:1906-1913
- Vitousek PM. 1991. Can planted forests counteract increasing atmospheric carbon CO₂ budget. Science 247:1431-1438.
- Wiegert RG and CD Monk. 1972. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.). Ecology 53:949-953.

Received: 21 September 2012

Revised: 26 May 2013

Revision accepted: 27 May 2013